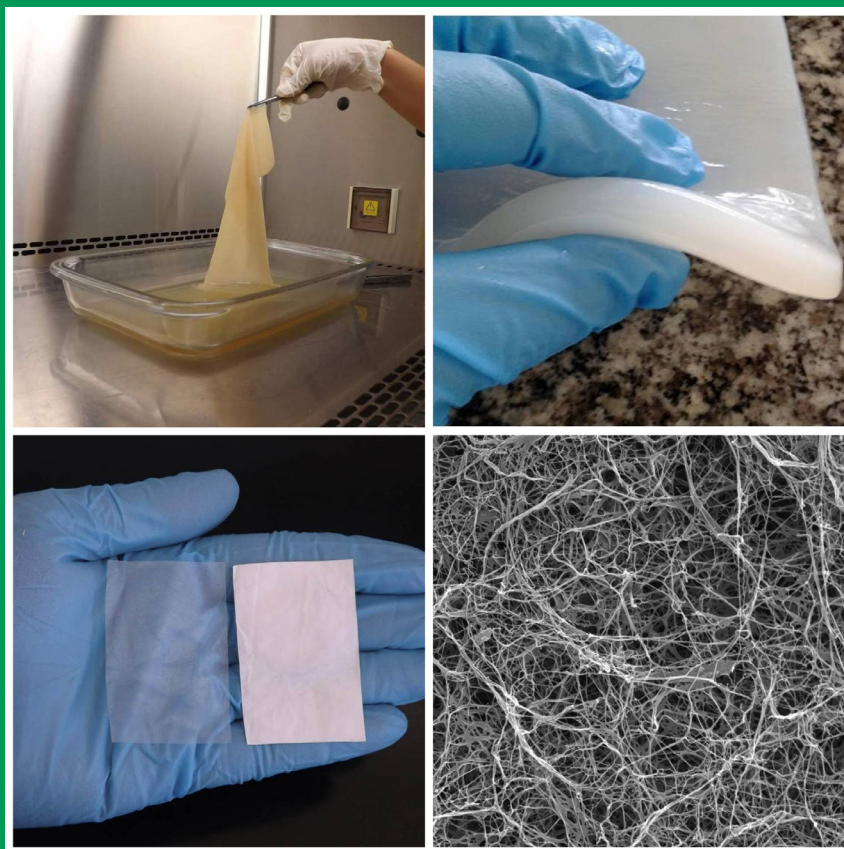


Celulose Bacteriana

Propriedades, Meios Fermentativos e Aplicações



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 186

Celulose Bacteriana

Propriedades, Meios Fermentativos e Aplicações

Éden Batista Duarte
Fábia Karine Andrade
Helder Levi Silva Lima
Eligenes Sampaio do Nascimento
Maria José Magalhães Carneiro
Maria de Fatima Borges
Erika Patrícia Chagas Gomes Luz
Bruna Santana das Chagas
Morsyleide de Freitas Rosa

***Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2019***

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente
Gustavo Adolfo Saavedra Pinto

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Secretária-administrativa
Eveline de Castro Menezes

Membros
*Marlos Alves Bezerra, Ana Cristina Portugal
Pinto de Carvalho, Deborah dos Santos Garruti,
Dheyne Silva Melo, Ana Iraidy Santa Brígida,
Eliana Sousa Ximendes*

Supervisão editorial
Ana Elisa Galvão Sidrim

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Ariilo Nobre de Oliveira

Fotos da capa
*(Coluna da esquerda) Éden Batista Duarte e
(Coluna da direita) Helder Levi Silva Lima*

1ª edição
On-line (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agroindústria Tropical

Celulose bacteriana propriedades, meios fermentativos e aplicações / Éden Batista Duarte...
[et al.]. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2019.

35 p. : il. ; 16 cm x 22 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-
8184; 186).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. Biopolímeros. 2. Cultivo. 3. Compósitos. I. Duarte, Éden Batista. II. Andrade, Fábila
Karine. III. Lima, Helder Levi Silva. IV. Nascimento, Eligenes Sampaio do. V. Carneiro, Maria
José Magalhães. VI. Borges, Maria de Fatima. VII. Gomes, Erika Patrícia Chagas Luz. VIII.
Chagas, Bruna Santana das. IX. Rosa, Morsyleide de Freitas. X. Série.

CDD 660

Autores

Éden Batista Duarte

Engenheiro Químico, doutor em Engenharia e Ciência de Materiais, pós-doutorando da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Fábia Karine Andrade

Bióloga, doutora em Engenharia Biomédica, pós-doutoranda da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Helder Levi Silva Lima

Engenheiro de Alimentos, doutorando em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Eligenes Sampaio do Nascimento

Engenheira de Alimentos, doutoranda em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Maria José Magalhães Carneiro

Bacharel em Química, doutoranda em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Maria de Fatima Borges

Farmacêutica-Bioquímica, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Erika Patrícia Chagas Gomes Luz

Engenheira de Alimentos, doutoranda em Engenharia Química,
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Bruna Santana das Chagas

Engenheira de Alimentos, mestranda em Engenharia Química,
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Morsyleide de Freitas Rosa

Engenheira Química, doutora em Tecnologia de Processos
Químicos e Bioquímicos, pesquisadora da Embrapa
Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Apresentação

O interesse crescente por materiais poliméricos que produzam melhor desempenho ambiental vem impulsionando estudos sobre novas fontes e aplicações inseridas no conceito de química verde. Entre os materiais de grande interesse está a celulose, o polímero natural mais abundante e um dos principais constituintes da parede celular das plantas. Embora usualmente encontrada em fontes vegetais, a celulose também pode ser sintetizada por algumas bactérias, passando a ser conhecida como celulose bacteriana.

Tradicionalmente, a celulose bacteriana é produzida a partir de meios de cultura sintéticos, resultando em custo de produção muito elevado e limitando seu uso para aplicações diversas. O uso de fontes de carbono e nutrientes de baixo custo, como resíduos da agroindústria, é uma estratégia interessante para superar essa limitação e, portanto, aumentar a competitividade desse material singular.

Neste documento, são apresentados aspectos gerais relacionados às propriedades e aplicações do biopolímero celulose bacteriana, bem como fontes usuais e alternativas empregadas na sua obtenção.

Lucas Antonio de Sousa Leite

Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

Sumário

Introdução.....	7
Celulose Bacteriana	8
Propriedades da Celulose Bacteriana	8
Biossíntese da Celulose Bacteriana.....	9
Cultivo da Celulose Bacteriana	12
Meios de Fermentação para Síntese da Celulose Bacteriana	13
Celulose Bacteriana e Resíduos da Agroindústria	15
Aplicações da Celulose Bacteriana	20
Celulose Bacteriana e Compósitos	22
Considerações Finais	24
Referências	25

Introdução

A celulose é o composto orgânico mais abundante e renovável da natureza (Raven; Evert; Eichhorn, 2007; Silva, 2008) e de grande importância econômica mundial (Keshk, 2014). O algodão (>94%) e a madeira (>50%) constituem as principais fontes para todos os produtos derivados da celulose, tais como papel, têxteis e materiais de construção. Embora a celulose obtida de fontes vegetais (Raven; Evert; Eichhorn, 2007; Silva, 2012) já seja largamente comercializada, problemas associados a questões ambientais estimulam a busca de novas fontes sustentáveis de produção. A celulose vegetal encontra-se usualmente associada a outros biopolímeros, como hemicelulose e lignina, de tal modo que sua extração geralmente requer a utilização de produtos químicos corrosivos, prejudiciais ao ambiente e responsáveis por maiores custos e tempo de processamento (Gea et al., 2011; Pecoraro et al., 2008; Sun, 2008). Tais fatores reduzem o leque de aplicações da celulose vegetal e limitam seu uso em áreas mais específicas como, por exemplo, a biomédica.

Diante do contexto apresentado, a celulose bacteriana (CB), inicialmente relatada por Brown (1886), aparece como uma alternativa promissora. Essa celulose, sintetizada após o processo fermentativo, é acompanhada apenas por células microbianas, açúcares e outros metabólitos secundários que são removidos por meio de um tratamento alcalino suave, sendo o produto final um material com elevado grau de pureza (Gallegos et al., 2016; Gea et al., 2011; Pecoraro et al., 2008), sem a presença de polissacarídeos não celulósicos.

Nas últimas décadas, a CB tem atraído a atenção da comunidade científica por apresentar propriedades únicas, como elevada resistência mecânica, biocompatibilidade e capacidade de absorção de água, além da possibilidade de ser moldada em estruturas tridimensionais durante a sua síntese. Tais características fazem desse biopolímero um material promissor para uma vasta gama de aplicações tecnológicas (Gama; Gatenholm; Klemm, 2012; Lee et al., 2014; Shah et al., 2013; Shi et al., 2014).

O presente trabalho visa apresentar as possibilidades de uso da CB, abordando aspectos gerais de sua produção (condições de síntese, meios de cultivo convencionais e fontes alternativas de nutrientes), com destaque para suas propriedades superiores, comparativamente à celulose vegetal,

e algumas aplicações em materiais nanoestruturados, especificamente nanocompósitos.

Celulose Bacteriana

Os polissacarídeos de origem microbiana têm sido bastante estudados devido a algumas vantagens de sua obtenção, tais como: produção independente de condições climáticas, possibilidade de utilização de matérias-primas regionais, maior rapidez na obtenção do produto acabado e infraestrutura de custo relativamente baixo (Souza; Garcia-Cruz, 2004). Esses polímeros apresentam também maior uniformidade em suas propriedades físico-químicas devido à especificidade do microrganismo utilizado e à possibilidade de um rígido controle dos parâmetros de fermentação, o que garante uma alta regularidade estrutural (Souza; Garcia-Cruz, 2004).

A literatura faz referência a vários aspectos relacionados à CB como, por exemplo, investigações sobre sua estrutura e biossíntese (Hestrin, 1962), estudos de aumento da produção do biopolímero (Hong; Qiu, 2008), influência de aditivos orgânicos (Gomes et al., 2013; Ha et al., 2008; Kiziltas, 2015; Kurosumi, 2009), condições de cultivo (Khattak, 2015; Kim et al., 2007) e aplicação industrial (Keshk, 2014).

Propriedades da Celulose Bacteriana

A CB difere da celulose vegetal em relação à estrutura fibrosa, essencialmente nanométrica, cristalinidade e pureza (Lee et al., 2014), o que desperta um interesse cada vez maior em novos campos de aplicação e no desenvolvimento de métodos para sua produção em larga escala.

As propriedades mecânicas, bem como a micro e a macroestrutura da CB, são influenciadas pelas condições de fermentação durante sua síntese, pela estirpe da bactéria utilizada e pelo tratamento após a síntese. A porosidade da membrana de CB, por exemplo, pode ser devidamente adaptada, variando as condições fisiológicas de crescimento bacteriano, tais como composição do meio de cultura, pH e temperatura (Lee et al., 2014; Silva, 2012).

Entre algumas das principais propriedades da CB, destacam-se sua morfologia, caracterizada por uma estrutura de rede fibrosa nanométrica,

tridimensional e constituída de microcanais de tamanho variável (Moosavi-Nasab; Yousefi, 2010; Silva, 2012), sua hidrofilicidade, sendo capaz de absorver quase 100 vezes sua própria massa em água, e sua cristalinidade de 84-89%, que pode ser influenciada pelo arranjo molecular cristalográfico. Além disso, possui elevado módulo de elasticidade, alto grau de polimerização (até 6.000), alta permeabilidade, alta porosidade (aprox. 94%) (Meftahi et al., 2010; Moon et al., 2006) excelente resistência mecânica e elevada área superficial, como decorrência de sua cristalinidade e do pequeno diâmetro das fibras, respectivamente (Silva, 2012).

Alguns dados comparativos entre as características da CB e da celulose vegetal são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características da celulose bacteriana versus celulose vegetal.

Propriedade	Celulose Vegetal	Celulose Bacteriana
Largura da fibra (nm)	14 - 40.000	50 - 80
Cristalinidade (%)	43 - 65	84 - 89
Grau de polimerização	13.000 - 14.000	2.000 - 6.000
Módulo de Young (GPa)	13 - 180	15 - 138
Resistência à tração (MPa)	10 - 250	91 - 260
Quantidade de água (%)	60	98,5

Fonte(s): Campano et al., 2016; Chawla et al., 2009; Dufresne et al., 2012; Moon et al., 2011; Pecoraro et al., 2008.

Biossíntese da Celulose Bacteriana

Celulose bacteriana pode ser biossintetizada por várias espécies de bactérias pertencentes aos gêneros *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Escherichia*, *Komagataeibacter* (Anteriormente, *Gluconacetobacter* - Yamada et al., 2012a,b), *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Sarcina* (Hassan et al., 2015; Huang et al., 2014; Zhijun et al., 2014). Esse exopolissacarídeo é sintetizado principalmente por espécies de

bactérias Gram-negativas, mas também pode ser produzido por algumas espécies Gram-positivas como *Sarcina ventriculi* (Deinema; Zevenhuizen, 1971).

Entre as bactérias produtoras mais eficientes de celulose está a espécie *Komagataeibacter xylinus* (anteriormente, *Gluconacetobacter xylinus* - Yamada et al., 2012a,b), primeiramente descrita por Brown em 1886 (Brown, 1886). Essa bactéria tem sido usada como organismo modelo para estudos da biossíntese, processos de cristalização e propriedades estruturais da celulose, devido aos trabalhos pioneiros desenvolvidos por Hestrin (1962) e Colvin (1980).

A biossíntese de celulose ocorre em várias etapas. Nesse processo, a celulose sintase, com um operon bem definido, é considerada a enzima mais importante. Operon é uma unidade genômica funcional do DNA que contém múltiplos genes (Boldrin, 2015; Lee et al., 2014). O operon da celulose sintase codifica complexos de proteínas alinhados ao longo do eixo longitudinal da célula, chamados de complexos terminais (CTs). Os CTs sintetizadores de celulose ocorrem na superfície da bactéria próximos aos poros da membrana. Inicialmente, eles sintetizam cadeias de celulose, chamadas de fibrilas subelementares, que se associam e formam as microfibrilas (2 a 4 nm de diâmetro). Posteriormente, as microfibrilas se agregam, por meio da cristalização das cadeias de glucano adjacentes, para formar uma grande fita de celulose (com larguras menores do que 130 nm), a qual é secretada para o meio em que se encontra a bactéria (Andrade et al., 2010; Saxena; Brown Junior, 2012).

O processo de síntese da CB por *K. xylinus* é regulado de maneira bastante precisa e específica, envolvendo um grande número de enzimas e complexos de proteínas catalíticas e regulatórias, cuja estrutura supramolecular ainda não está bem definida. Quatro passos enzimáticos essenciais foram identificados na via de síntese quando a glicose é usada como substrato: (1) A glicose é transportada através da membrana bacteriana e fosforilada em glicose-6-fosfato pela glicose quinase. (2) Glicose-6-fosfato é isomerizada pela fosfoglicomutase em glicose-1--fostato. (3) Glicose-1-fostato é convertida em uridina 5'-difosfato glicose (UDPG) pela UDPG pirofosforilase. Finalmente, (4) a UDPG é polimerizada em celulose pela celulase sintase. Sabe-se ainda que a celulase sintase é especificamente ativada pelo nucleotídeo

diguanilato cíclico. O nucleotídeo é sintetizado a partir do guanosina trifosfato e (GTP) pela diguanilato ciclase e é degradado pelas fosfodiesterases A e B (Ross; Weinhouse, 1987). Quando dissacarídeos, como a sacarose e maltose, são usados como fontes de carbono por bactérias produtoras de celulose, a biossíntese da CB começa com a hidrólise dos dissacarídeos em monossacarídeos, como a glicose e frutose. A síntese de celulose por *K. xylinus* está intimamente associada com processos catabólicos de oxidação e consome cerca de 10% da energia derivada de reações catabólicas; no entanto, o processo de biossíntese da celulose não interfere com outros processos anabólicos, incluindo a síntese de proteínas.

Os complexos proteicos produtores de celulose são codificados pelo operon da celulose sintase, que possui um tamanho de 9.217 pares de bases e é constituído de 4 genes (*bcsA*, *bcsB*, *bcsC* e *bcsD*). Estudos genéticos mostraram que todos os 4 genes do operon são necessários para uma síntese máxima de celulose por *K. xylinus*. No entanto, acredita-se que o domínio A, codificado pelo *bcsA* e ligado à membrana interna, seja o domínio catalítico responsável pela polimerização da uridina difosfato - glicose (UDP - glicose) em CB. O outro domínio B, codificado pelo gene *bcsB*, acelera a síntese de CB ao se ligar ao diguanilato cíclico (c-di-GMP). Supõe-se que os domínios C e D, codificados pelos genes *bcsC* e *bcsD*, estejam localizados na membrana externa e podem estar relacionados com o processo de cristalização e/ou extrusão da cadeia de celulose sintetizada, mas a principal função destes domínios ainda é desconhecida (Amano; Ito; Kanda, 2005; Wong et al., 1990). Um trabalho mais recente publicado por Hu et al. (2010), determinou a estrutura cilíndrica requintada do domínio D, sugerindo que este domínio poderia fornecer passagem para a extrusão das cadeias de glucano.

A bactéria *K. xylinus* é capaz de produzir celulose utilizando várias fontes de carbono, como, por exemplo, hexoses, glicerol, diidroxiacetona, piruvato e ácido dicarboxílico. Dependendo do tipo de substrato disponível, a via de oxidação a ser utilizada pela bactéria pode ser a das pentoses fosfato, no caso de carboidratos, ou o ciclo de Krebs, no caso dos ácidos orgânicos e compostos relacionados. *K. xylinus* é incapaz de metabolizar a glicose anaerobicamente devido à ausência da enzima fosfofrutose quinase. Esta enzima é responsável pela fosforilação da frutose-6-fosfato em frutose 1,6-difosfato, requerida durante a glicólise.

Cultivo da Celulose Bacteriana

A síntese de CB ocorre mediante a inoculação do microrganismo em um meio de cultura adequado ao seu crescimento, contendo fontes de fósforo, nitrogênio, carbono, oligoelementos e outros. Como já foi dito, a bactéria mais estudada tem sido *K. xylinus* (Yamada et al., 2012a,b), dada sua capacidade de produzir níveis relativamente altos do biopolímero a partir de uma ampla variedade de substratos (Moosavi-Nasab; Yousefi, 2010; Sani; Dahman, 2010). Bactérias do gênero *Komagataeibacter* apresentam tolerância a condições ácidas, sendo capazes de crescer em valores de pH inferiores a 5,0 (Castro et al., 2011). Sua faixa ótima de temperatura de crescimento está entre 15 e 34 °C, enquanto a temperatura de inativação térmica varia de 65 a 70 °C (Madalozzo, 2008).

Em relação às condições de cultivo, há dois métodos amplamente empregados para a síntese de CB extracelular. Em condições estáticas, a CB é sintetizada na interface ar/líquido do meio de cultura, na forma de uma película gelatinosa, enquanto no método de cultivo agitado, obtém-se celulose com tamanhos e formas variados.

Quando a cultura é mantida em modo estático, as fitas de celulose que estão sendo formadas e as bactérias associadas se emaranham e formam uma película flutuante na interface ar/líquido. Em um estágio inicial da cultura, a bactéria consome o oxigênio dissolvido no meio para aumentar a sua população e, durante essa fase, uma certa quantidade de celulose é produzida na fase líquida. Porém, somente as bactérias que estão nas proximidades da interface ar/líquido e com acesso ao oxigênio serão capazes de manter a sua atividade e produzir celulose. Aquelas bactérias imersas na fase líquida ficarão dormentes, podendo ser reativadas e usadas como inóculo em novas culturas (Lavoine et al., 2012). Portanto, o processo de formação da celulose, sob condições estáticas, é regulado pela quantidade de oxigênio em contato com a superfície do meio e do tempo de fermentação, tendo em vista que as bactérias não sintetizam CB quando há oferta insuficiente de oxigênio. O processo semicontínuo em condição estática é mais recomendado em escala industrial, por permitir elevar a produtividade de CB, quando comparado ao processo contínuo (Çakar et al., 2014).

Outro método usualmente empregado para produção da celulose diz respeito ao cultivo agitado, por meio do qual são obtidas formas irregulares de celulose em suspensão fibrosa, como esferas e *pellets* (Yan et al., 2008; Wu; Lia,

2008). Embora o rendimento da produção de CB seja bem maior no cultivo estático do que no cultivo agitado, esse modo de cultivo requer elevada área superficial disponível, por isso alguns pesquisadores têm indicado a cultura agitada como a técnica mais adequada para produção em escala econômica (Lee et al., 2014). Contudo, ainda é preciso superar algumas limitações do processo de cultura sob agitação, como o surgimento de mutantes não produtores de celulose que acabam por dominar a cultura, resultando muitas vezes em um baixo rendimento do processo (Kim et al., 2007).

Aspectos relevantes para a produção de CB estão relacionados às fontes e à concentração de carbono e de nitrogênio, o pH, a temperatura e o suprimento de oxigênio. Todos esses aspectos afetam a produção de celulose, bem como as propriedades da membrana, seja em cultura de células estática ou agitada. Além disso, diferenças nas estirpes de bactérias desempenham um papel importante na taxa de produção e na microestrutura da celulose obtida (Rani; Appaiah, 2011; Ruka et al., 2012; Tang et al., 2010).

Além de alterações macroscópicas observadas entre CB produzida em culturas estática e agitada, a estrutura microscópica também apresenta modificações. Embora a rede de fibrilas permaneça a mesma, há algumas diferenças na estrutura dos cristais e das cadeias moleculares. Por exemplo, a resistência mecânica, a cristalinidade e o grau de polimerização do material formado são inferiores quando obtidos em cultura agitada (Shi et al., 2014).

Meios de Fermentação para Síntese da Celulose Bacteriana

Os meios de fermentação podem ser de dois tipos: meios de composição definida, os quais apresentam componentes químicos com composição conhecida, ou meios complexos, obtidos a partir de substratos naturais e com composição química definida. Os meios complexos apresentam custos menores frente aos meios de composição definida e, em alguns casos, podem fornecer maiores rendimentos. Contudo, os pesquisadores preferem trabalhar com meios de composição definida, principalmente na área médica, devido sua maior reprodutibilidade e da facilidade de purificação do produto final (Adnan, 2015).

Em geral, os meios para produção de biopolímeros apresentam fontes de fósforo (fosfato de potássio) e nitrogênio (sulfato de amônio) em

concentrações adequadas para o crescimento do microrganismo; fonte de carbono (glicose, sacarose, manose, frutose, etc.) como reserva energética; e ainda oligoelementos como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e outros, os quais desempenham papel importante como cofatores enzimáticos nas vias de produção do biopolímero de CB. Um meio bastante utilizado tem sido O ALABAN (Alaban, 1962), que possui a sacarose como fonte de carbono. A produção da celulose na superfície desse meio é característica da *K. hansenii* (anteriormente, *Gluconacetobacter hansenii* - Yamada et al., 2012a,b), por ser uma forma de assegurar sua permanência na interface ar/líquido, onde o oxigênio está mais concentrado, uma vez que esse microrganismo é estritamente aeróbio (Madalozzo, 2008). A celulose produzida pode atuar como uma matriz extracelular para acentuar a colonização no meio e prevenir a potencial presença de competidores pelo substrato. Além disso, a película de celulose auxilia na retenção da umidade, impedindo o ressecamento dos substratos naturais durante o crescimento da bactéria, fornece proteção ao organismo contra a luz ultravioleta e permite o fornecimento de nutrientes por difusão (Andrade et al., 2010).

Outro meio sintético bastante conhecido é o HS (Hestrin; Schramm, 1954). Diferente do ALABAN, o meio HS apresenta glicose na sua composição, o que o torna mais interessante, pelo fato da glicose ser a principal fonte de carbono utilizada por *K. hansenii* na produção de CB (Carreira et al., 2011; Huang et al., 2014). Desde a descoberta da produção da CB, o meio HS sintético tem sido o mais utilizado. Na Tabela 2 é possível comparar a diferença de composição entre os dois meios.

Tabela 2. Composição dos meios utilizados para produção de celulose bacteriana.

Composição	ALABAN (g/L)	HS (g/L)
Ácido cítrico monohidratado	-	1,15
Extrato de levedura	2,50	5,00
Fosfato ácido de potássio	5,00	-
Fosfato bibásico de sódio anidro	-	2,70
Glicose	-	20,00
Peptona	-	5,00
Sacarose	100,00	-
Sulfato de amônio	0,60	-
Sulfato de magnésio heptahidratado	0,20	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Celulose Bacteriana e Resíduos da Agroindústria

Fontes convencionais baseadas em carbono e outros nutrientes (glicose, frutose, sacarose) são bastante usadas para fermentação microbiana (Algar et al., 2014). No entanto, esses meios de fermentação respondem por cerca de 30% do custo total do processo (Jozala et al., 2016). Alto custo e baixo rendimento têm limitado a produção industrial de CB e sua aplicação comercial. A fim de encontrar um meio de cultivo mais econômico para a produção de CB em larga escala, vários resíduos ou subprodutos da agroindústria foram avaliados como fonte econômica de carbono e demais nutrientes para a produção de CB, por apresentarem cargas orgânicas e nutrientes adequados para o crescimento microbiano (Çakar et al., 2014; Duarte, 2014; Gomes et al., 2013; Kurosumi et al., 2009; Lima et al., 2017; Nascimento et al., 2016). O uso de tais produtos confere um efeito positivo ao diminuir os impactos ambientais associados à eliminação de resíduos por parte das indústrias. Além disso, sabe-se que a suplementação desses meios com fontes de nitrogênio e fósforo pode ainda elevar a produção de CB (Gomes et al., 2013; Lima, 2014; Nascimento, 2016).

O descarte de resíduos representa um crescente problema devido ao aumento de sua produção. Os maiores impactos ambientais provocados por resíduos orgânicos, e decorrentes da fermentação do material, podem ocasionar a formação de ácidos orgânicos (“chorume” – líquido de elevada demanda bioquímica de oxigênio formado com a degradação do material orgânico e a lixiviação de substâncias tóxicas) com geração de maus odores e diminuição do oxigênio dissolvido em águas superficiais (Graminha et al., 2008).

Devido à quantidade de nutrientes disponíveis nos resíduos agroindustriais, esses podem ser convertidos em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários. Nesse contexto, a fermentação desempenha um papel de destaque no aproveitamento de resíduos visando à síntese de diversos compostos de alto valor agregado e de grande interesse industrial (Dantas; Aquino, 2010).

Os resíduos agroindustriais (bagaços, tortas, restos de frutas, hortaliças) podem ser provenientes de usinas sucroalcooleiras, abatedouros, indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), frutas e

hortaliças (bagaço, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuais), curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuais) e outros (Dantas; Aquino, 2010).

O melaço é um subproduto da indústria açucareira prontamente disponível e a custo relativamente baixo. Contém aproximadamente 50% (m/m) de açúcares totais, como sacarose, glicose, frutose e rafinose (Rivas et al., 2004), sendo, portanto, uma fonte de carbono muito atrativa do ponto de vista econômico. De fato, vários tipos de melaço ou xarope têm sido utilizados como fontes alternativas de carbono para a produção de CB (Çoban; Biyik, 2011; Keshk et al., 2006a; Khattak et al., 2015; Zeng et al., 2011;). Há também a milhocina, subproduto da moagem úmida do milho que, por ser uma fonte completa de nitrogênio, vitaminas e outros elementos, pode atuar como complemento rico em nutrientes importantes para o crescimento microbiano durante a fermentação (Xiao et al., 2013). Alguns trabalhos relatam o uso concomitante de melaços e milhocina na produção de CB (Jung et al., 2010; Tyagi; Suresh, 2016).

Vários outros resíduos oriundos da indústria alimentícia, como suco de frutas (Castro et al., 2011; Kongruang, 2008; Kurosumi et al., 2009; Rani et al., 2011; Yang, 2014), bagaço de frutas (Carreira et al., 2011; Castro et al., 2011; Kumbhar et al., 2015; Rani et al., 2013; Vazquez et al., 2013), soro de queijo (Carreira et al., 2011; Thompson; Hamilton, 2001), palha de trigo (Al-Abdallah; Dahman, 2013; Hong et al., 2011), casca de arroz (Goelzer et al., 2009), pó de Konjac (Hong; Qiu, 2008), resíduos de destilarias (Hyun, 2014; Wu; Liu, 2012; Wu; Liu, 2013) e cervejarias (Ha et al., 2008) já foram empregados com sucesso para a produção de CB.

Biorrefinarias de polpa de celulose e lignocelulose e a indústria têxtil geram uma grande quantidade de resíduos ricos em celulose/algodão e hemicelulose que também podem ser usados como fonte de carbono para a bactéria produtora de celulose. Porém, a maior parte desses resíduos e dessas matérias-primas precisa ser hidrolisada por meio de um pré-tratamento ácido e/ou enzimático, antes de ser usada como meio fermentativo (Cavka et al., 2013; Guo et al., 2013; Hong et al., 2012; Kuo et al., 2010). Na Tabela 3 são apresentados alguns resíduos agroindustriais já estudados como meios ou componentes de meios alternativos para a produção de CB.

Tabela 3. Resíduos estudados como meios de fermentação alternativos para produção de celulose bacteriana.

Resíduo	Estirpe	Referências
Sucos de frutas		
Coco	<i>G. xylinus</i> (TISTR 998, 975, 893)	Kongruang, 2008
Abacaxi	<i>G. xylinus</i> (TISTR 998, 975, 893), <i>A. xylinum</i> NBRC 13693	Kongruang, 2008; Kurosumi et al., 2009
Cana-de-açúcar	<i>G. swingsii</i> sp.	Castro et al., 2011
Laranja	<i>A. xylinum</i> NBRC 13693; <i>G. xylinus</i>	Kurosumi et al., 2009
Maçã	<i>A. xylinum</i> NBRC 13693	Kurosumi et al., 2009
Pera	<i>A. xylinum</i> NBRC 13693	Kurosumi et al., 2009
Uva	<i>A. xylinum</i> NBRC 13693, <i>Gluconacetobacter</i> sp.	Kurosumi et al., 2009 Rani et al., 2011
Lichia	<i>G. xylinus</i>	Yang et al., 2014
Casca /Bagaço de frutas		
Abacaxi	<i>G. swingsii</i> sp., <i>Komagataeibacter Hansenii</i>	Castro et al., 2011; Kumbhar et al., 2015
Uva	<i>G. sacchari</i> , <i>G. xylinus</i> NRRL B-42	Carreira et al., 2011; Vazquez et al., 2013
Melancia	<i>Komagataeibacter Hansenii</i>	Kumbhar et al., 2015
Café	<i>G. Hansenii</i> UAC09	Rani et al., 2013
Melaço/xarope		
Cana-de-açúcar	<i>A. xylinum</i> (ATCC 10245 e IF0 13693, 13772, 13773, 14815 e 15237), <i>G. intermedius</i> SNT-1	Keshk et al., 2006a Tyagi; Suresh 2016
Beterraba	<i>G. xylinus</i> ATCC 10245, <i>A. pasteurianus</i> HBB6 e <i>A. lovaniensis</i> HBB5	Keshk et al., 2006b; Çoban e Biyik, 2011
Bordo	<i>A. xylinum</i> BPR 2001	Zeng et al., 2011
Melaço da indústria cervejeira	<i>G. xylinus</i> ATCC 23768	Khattak et al., 2015
Black strap ^(a)	<i>G. xylinus</i> ATCC 23768	Khattak et al., 2015
Melaço da cana-de-açúcar e Milhocina	<i>Acetobacter</i> sp. V6, <i>A. xylinum</i> BPR2001, ATCC 10245	Jung et al., 2010; Bae; Shoda, 2004; Bae; Shoda, 2005; El-Saied et al., 2008
Algaroba	<i>G. Hansenii</i> ATCC 23769	Nascimento et al., 2016
Outros resíduos da indústria alimentícia		
Efluentes de batata	<i>G. xilynus</i> (ATCC 10821 e 23770)	Thompson; Hamilton, 2001
Permeado de soro de queijo	<i>G. xilynus</i> (ATCC 10821 e 23770), <i>G. sacchari</i>	Thompson; Hamilton, 2001; Carreira et al., 2011
Pó de Konjac	<i>G. xylinus</i> ATCC 23770	Hong; Qiu, 2008
Restos de comida	<i>A. xylinum</i> KJ1	Moon et al., 2006
Resíduos do caldo de fermentação da cerveja	<i>G. Hansenii</i> PJK (KCTC 10505BP)	Ha et al., 2008
Casca de arroz	<i>A. xylinum</i> ATCC 23769	Goelzer et al., 2009

(Continua...)

Tabela 3. (Continuação)

Resíduo	Estirpe	Referências
Palha de trigo	<i>G. xylinus</i> ATCC 700178, <i>G. xylinus</i> ATCC 23770	Al-Abdallah; Dahman, 2013; Hong et al., 2011
Resíduo do lagar de azeite	<i>G. sacchari</i>	Gomes et al., 2013
Águas residuais provenientes da produção de jujuba cristalizada	<i>G. xylinum</i> CGMCC No.2955	Li et al., 2015
Efluentes da produção de açúcar refinado de beterraba	<i>G. xylinus</i> (ATCC 10821 e ATCC 23770)	Thompson; Hamilton, 2001
Resíduo rico em farinha	<i>Komagataeibacter sucrofermentans</i> DSM 15973	Tsouko et al., 2015
Lama de Makgeolli (resíduo da destilaria de vinho)	<i>G. xylinus</i> ATCC10788	Hyun et al., 2014
Vinhaça fina (águas residuais da destilaria de vinho de arroz)	<i>G. xylinus</i> BCRC 12334	Wu; Liu, 2012; Wu; Liu, 2013
Resíduos da Indústria de Biodiesel		
Glicerol	<i>G. sacchari</i> , <i>G. xylinus</i> NRRL B-42	Carreira et al., 2011; Vazquez et al., 2013
Farelo de semente girassol	<i>K. sucrofermentans</i> DSM 15973	Tsouko et al., 2015
Resíduos ricos em celulose da indústria de papel e têxtil (polpa de celulose, lignocelulose, têxteis à base de algodão)	<i>G. xylinus</i> ATCC 23770, <i>G. xylinus</i> BCRC 12 332, <i>G. xylinus</i> ATCC 23770, <i>A. xylinum</i> 23769	Cavka et al., 2013; Kuo et al., 2010; Hong et al., 2012; Kiziltas et al., 2015
Licor de cozimento ao sulfito (resíduo da indústria do papel)	<i>G. sacchari</i>	Carreira et al., 2011
Hidrolisado ácido de capim-elefante	<i>G. xylinus</i> CH001	Yang et al., 2013
Hidrolisado de abeto	<i>G. xylinus</i> ATCC 23770	Guo et al., 2013

^(a) Subproduto da fase de extração final da refinação do açúcar.

O Brasil produz uma grande quantidade de substratos, mas que na realidade ainda constituem resíduos descartados pelas agroindústrias, tornando-se agentes poluidores do meio ambiente ou sendo utilizados em pequena escala para a alimentação de animais (Druzian; Pagliarini, 2007).

O suco de caju e o resíduo líquido de sisal pertencem a duas importantes cadeias agroindustriais e representam fontes potenciais de carbono e nutrientes, tendo sido estudados em trabalhos desenvolvidos em laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical, como meio alternativo para a obtenção de CB (Duarte, 2014; Lima et al., 2017), nas suas condições *in natura* e sem suplementação adicional (Figura 1). O extrato da algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw.)] e melado de soja também vêm sendo utilizados pela Embrapa como fonte alternativa de nutrientes para a produção de CB (Nascimento et al., 2016; Chagas et al., 2017).



Fotos: Éden Batista Duarte



Figura 1. Celulose bacteriana obtida a partir de: A) suco de caju, B) resíduo líquido de sisal.

Na presente revisão, foi realizado um levantamento da publicação de artigos científicos publicados nos últimos 17 anos com o tema proposto em diversas bases de dados: *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico*. Esse levantamento foi realizado com as palavras-chave: “*Bacterial cellulose*”, “nata de coco”, “*microbial cellulose*”, “*alternative carbon source*”, “*alternative medium*”, “*waste*”, “*feedstock*”. O levantamento de patentes foi feito em relação aos últimos 17 anos pelo *Google Patents* e *Web of Science* utilizando-se as palavras-chave: “*bacterial cellulose production*”, “*production of bacterial cellulose*”, “nata de coco”, “*feedstock*”, “*waste*”, “*alternative carbon source*”. Os resultados desse levantamento são apresentados na Figura 2.

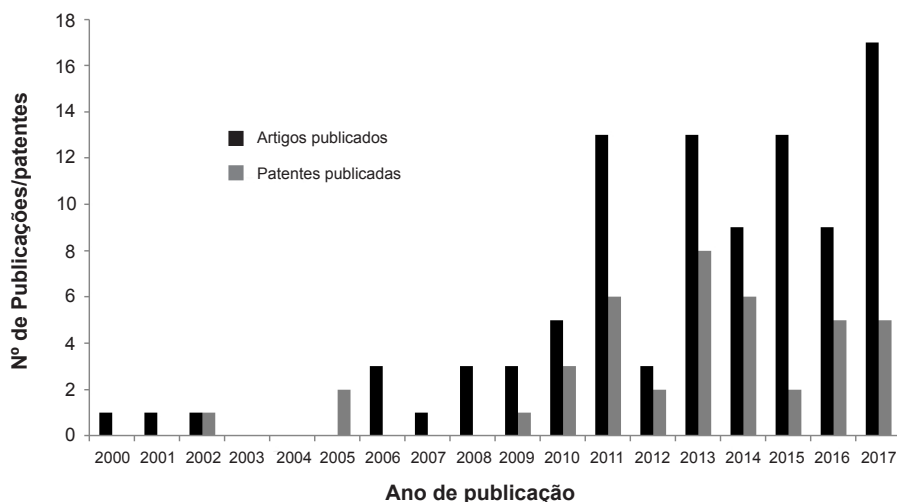


Figura 2. Publicações e patentes dos últimos 17 anos sobre a produção de celulose bacteriana em resíduos agroindustriais.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Aplicações da Celulose Bacteriana

A CB tem se destacado por ser um material único com propriedades que permitem diversas aplicações, seja em adesivos, absorventes, lubrificantes, amaciadores, embalagens, materiais estruturais de alta performance, dispositivos computacionais, veículos para a liberação controlada de fármacos e matrizes biomédicas (Zhu et al., 2011).

No campo da biomedicina, a celulose bacteriana destaca-se como biomaterial para cicatrização de feridas e produção de scaffolds (arcabouços) na engenharia de tecidos (Andrade et al., 2010; Faria-Tischer; Tischer, 2012). Sua estrutura tridimensional é uma característica essencial para o uso como suporte, pois facilita a fixação e a proliferação de células que formam o novo tecido (Silva, 2012).

Em 1980, a Johnson & Johnson passou a produzir em larga escala a membrana de CB e, posteriormente, a empresa Xylos iniciou a manufatura da XCell® para o tratamento de feridas. No Brasil, a principal produtora de membranas de celulose para tratamento de feridas da pele e queimaduras é a empresa Bionext Produtos Biotecnológicos Ltda., antiga e pioneira BioFill. Além do Brasil, no Canadá, nos Estados Unidos e no Japão há empresas que atuam na comercialização de membranas de CB.

As aplicações da CB vão muito além do campo biomédico. A nata de coco, original das Filipinas, tornou-se um dos primeiros produtos alimentares comercialmente disponíveis de celulose microbiana, ganhando notável popularidade em outros países asiáticos, incluindo Indonésia, Japão e Taiwan. Esse produto é tradicionalmente obtido pela fermentação estática de água de coco (Phisalaphong; Chiaoprakobkij, 2012) e consumido como sobremesa.

Outras aplicações alimentares sugerem o uso de CB em alimentos processados para melhorar sua qualidade, seja na forma de aditivos de baixa caloria, espessantes, estabilizantes, modificadores de textura ou como embalagens de alimentos (Shi et al., 2014).

No campo da eletrônica, foram desenvolvidas membranas com alta condutividade elétrica e dispositivos emissores de luz por meio da incorporação de metais na estrutura da celulose. Algumas das membranas foram modificadas com paládio e platina para serem utilizadas em células de combustível e de reatores catalíticos (Pineda; Mesa; Riascos, 2012).

Outros estudos demonstraram o uso de membranas de CB em processos de separação/purificação, como, por exemplo, a separação de polióis, clarificação de suco de frutas, pervaporação de misturas etanol-água, pervaporação de componentes aromáticos de frutas, diálise e permeação de gases (Pineda; Mesa; Riascos, 2012).

Ul-Islam et al. (2015) enumeraram diversas aplicações tecnológicas da membrana de CB, como, por exemplo, desenvolvimento de papéis eletrônicos, displays, LEDs e vários dispositivos óptico-eletrônicos, além da utilização na cicatrização de feridas, regeneração tecidual e desenvolvimento de órgãos artificiais.

Celulose Bacteriana e Compósitos

Em razão de suas propriedades superiores, a CB também vem sendo indicada como matriz para elaboração de compósitos, objetivando incorporar novas características aos materiais. A CB possui um arranjo natural de fibras que atua como matriz para a deposição de partículas dos mais variados materiais de reforço. Quando combinados à celulose, tais materiais lhe conferem características adicionais, como propriedades biológicas e físico-químicas. Essa possibilidade de inserção de materiais às fibras de celulose, não só por meio do cultivo, mas também por impregnação de membranas, levou a um crescente interesse em pesquisas voltadas para a elaboração de nanocompósitos com CB (Barud et al., 2011; Liu et al., 2015; Luz, 2016; Ostadhossein et al., 2015; Shao et al., 2015).

Compósitos de CB podem ser preparados por meio de técnicas *in situ* ou *ex situ*. No método *in situ*, materiais de reforço são adicionados à celulose durante sua síntese, ao passo que no método *ex situ* a película de CB, após passar pelo processo de purificação, é impregnada com materiais de reforço.

A inserção *in situ* permite que materiais sejam incorporados à rede de fibras por meio de sua difusão no meio de cultura, o que leva à formação de estruturas com qualidades adicionais. As adições *in situ* vêm sendo bastante abordadas na literatura, principalmente para produção de nanocompósitos de CB que possam ser utilizados na Biomedicina.

Gea et al. (2010) produziram nanocompósitos de celulose bacteriana-poliálcool vinílico (PVA) usando dois métodos de preparação diferentes: a) crescimento *in situ* de CB na presença de PVA, e b) impregnação de géis de celulose bacteriana com uma solução de PVA. As propriedades morfológicas e mecânicas dos dois compósitos obtidos foram comparadas. Os resultados mostraram que a adição de PVA ao meio não afetou a estrutura cristalina da

CB resultante; no entanto, causou uma pequena alteração nas dimensões das suas fibras. No caso dos compósitos feitos pelo método de impregnação, a presença de PVA reduziu tanto a resistência à tração e a rigidez dos filmes por um fator de dois, enquanto o compósito CB/PVA cultivado *in situ* proporcionou uma melhor combinação das características da CB e PVA, notadamente alta resistência e ductilidade. Quanto mais PVA impregnando a CB, maior a transparência óptica. Como resultado, a transparência óptica do compósito de CB impregnado com PVA, com um teor de PVA estimado de 3,7%, foi melhor do que o compósito produzido *in situ*, com 1,3% de conteúdo máximo de PVA. Em geral, a técnica de crescimento *in situ* resultou em um nanocompósito CB/PVA com uma melhor combinação de propriedades mecânicas e ópticas devido a uma microestrutura mais homogênea e, ao mesmo tempo, evitando um processo de impregnação posterior para a fabricação do compósito.

Lin et al. (2013) preparam um compósito de CB/quitosana imergindo a membrana de CB em quitosana com posterior liofilização do material. Tal compósito combinou a resistência mecânica da CB com as propriedades antimicrobianas da quitosana, tornando-se um material promissor para uso com curativos dérmicos.

Duarte (2014), baseado em trabalhos prévios relatados na literatura, conseguiu elaborar um compósito com hidroxiapatita deficiente em cálcio (Figura 3),

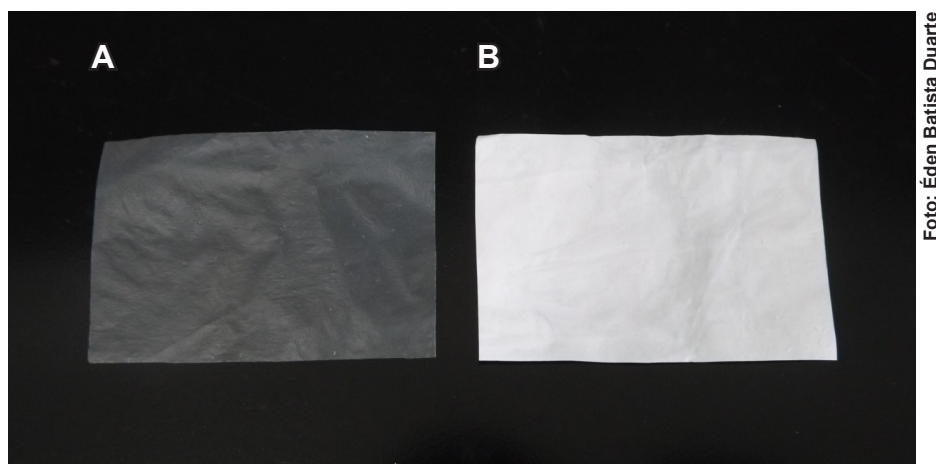


Figura 3. Película de celulose bacteriana (A) e compósito celulose bacteriana e hidroxiapatita (B).

amplamente utilizada em substituições ósseas, em CB obtida a partir de suco de caju e resíduo líquido de sisal. O material resultante apresentou estabilidade estrutural, bioatividade e afinidade por absorção de proteínas, indicando seu potencial uso em aplicações biomédicas, principalmente como scaffolds na engenharia de tecidos (Duarte, 2014; Duarte et al., 2015).

Luz (2016) desenvolveu compósitos híbridos à base de celulose bacteriana/hidroxiapatita (CB/HA) funcionalizados com estrôncio (Sr), em que cada material se diferencia na forma como o metal está ligado à matriz compósita, sendo por troca iônica com o cálcio ou por quimissorção. Os materiais produzidos demonstraram potencial para aplicações tópicas em fraturas irreversíveis, por apresentarem perfis distintos de liberação (rápida e controlada) de estrôncio. A inserção do Sr potencializou a interação do compósito CB/HA no benefício do tecido ósseo, além de ampliar seu uso em situações diversas na reposição de perda óssea.

A CB é um material interessante para o uso como curativos, uma vez que proporciona ambiente úmido para feridas, resultando numa melhor cicatrização. No entanto, a própria celulose bacteriana não apresenta atividade antimicrobiana capaz de evitar a infecção da ferida. Com o intuito de se obter uma membrana de CB com atividade antimicrobiana, Barud et al. (2011) produziram um compósito constituído por CB e nanopartículas de prata, por meio da imersão das películas em solução de nitrato de prata e do uso de trietanolamina (TEA), empregada como agente de complexação, redução e também como plastificante. O novo compósito exibiu forte atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva), *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli* (Gram-negativas), bactérias comumente encontradas em feridas contaminadas.

Considerações Finais

Embora a celulose vegetal apresente uso bastante diversificado, questões de sustentabilidade e preservação do meio ambiente têm levado à busca por materiais alternativos não convencionais. Dentre esses, destaca-se a celulose bacteriana, material caracterizado por sua natureza fibrosa e essencialmente nanométrica, que lhe confere propriedades superiores, quando comparada à celulose vegetal. Além disso, a celulose bacteriana

pode ser sintetizada em curto espaço de tempo, com produção independente de condições climáticas e possibilidade de utilização de matérias-primas regionais como meio de fermentação. Ademais, esse tipo de celulose pode ser purificada por meio de processos simples, obtendo-se um produto final de elevada pureza. Por outro lado, a biossíntese desse biopolímero ainda não foi completamente elucidada, havendo a necessidade de novas pesquisas que viabilizem o aumento de sua escala de produção e reduzam o efeito negativo de fatores diversos, como baixas taxas de produção e elevados custos operacionais, possibilitando, assim, a amplificação do seu uso comercial. Para que o processo de fermentação seja barateado, estudos estão sendo desenvolvidos com outras fontes de carbono e nitrogênio. Muitos resíduos agrícolas são economicamente viáveis e podem ser utilizados como componentes do meio de cultura, suprimindo as necessidades nutricionais das bactérias. Alternativamente, podem ser utilizados meios semissintéticos que contêm tanto os produtos químicos relativamente puros como também substratos derivados de resíduos. No entanto, essas abordagens na produção de biopolímeros devem ser testadas para garantir que os produtos finais possuam propriedades e qualidades adequadas para aplicações biomédicas e industriais. Também é necessária uma análise aprofundada dos custos envolvidos para garantir que a utilização de um substrato barato não adicione despesas extras em partes do processo de produção, incluindo a recuperação e purificação finais.

Referências

- ADNAN, A. B. **Production of bacterial cellulose using low-cost media**. 2015. 179 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Waikato, Hamilton. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10289/9165>>. Acesso em: 13 jul. 2017.
- ALABAN, C. A. Studies on the optimum conditions for "nata de coco" bacterium or "nata" formation in coconut water. **Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 45, p. 490-516, 1962.
- AL-ABDALLAH, W.; DAHMAN, Y. Production of green biocellulose nanofibers by *Gluconacetobacter xylinus* through utilizing the renewable resources of agriculture residues. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, Berlin, v. 36, n. 11, p. 1735-1743, 2013.
- ALGAR, I.; FERNANDES, S. C. M.; MONDRAGON, G.; CASTRO, C.; GARCIA-ASTRAIN, C.; GABILONDO, N.; RETEGI, A.; ECEIZA, A. J. Pineapple agroindustrial residues for the

production of high value bacterial cellulose with different morphologies. **Journal of Applied Polymer Science**, Malden, v. 132, p. 41237- 41237, 2014.

AMANO, Y.; ITO, F.; KANDA, T. Novel cellulose producing system by microorganisms such as *Acetobacter* sp. **Journal of Biological Macromolecules**, Kyoto, v. 5, n. 1, p. 3-10, 2005.

ANDRADE, F. K.; PERTILE, R. A. N.; DOURADO, F.; GAMA F. M. Bacterial Cellulose: Properties, Production and Applications. In: LEJEUNE, A.; DEPREZ, T. (Eds.). **Cellulose: structure and properties, derivatives and industrial uses**. New York: Nova Science Publishers, 2010. p. 427-458.

BAE, S. O.; SHODA, M. Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* BPR2001 using molasses medium in a jar fermentor. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 67, n.1, p. 45-51, 2005.

BAE, S.; SHODA, M. Bacterial cellulose production by fed-batch fermentation in molasses medium. **Biotechnology Progress**, Malden, v. 20, n. 5, p. 1366-1371, 2004.

BARUD, H. S.; REGIANI, T.; MARQUES, R. F.; LUSTRI, W. R.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. Antimicrobial bacterial cellulose-silver nanoparticles composite membranes. **Journal of Nanomaterials**, New York, v. 2011, p. 1-8, 2011.

BOLDRIN, L. F. **Biossíntese, aplicabilidade e recentes avanços no estudo da celulose bacteriana**. 2015. 50 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Biotecnologia, Universidade de São Paulo, Lorena.

BROWN, A. J. An acetic ferment, which forms cellulose. **Journal of the Chemical Society**, London, v. 49, p. 432-439, 1886.

ÇAKAR, F.; ÖZER, I.; AYTEKIN, A. Ö.; ŞAHİN, F. Improvement production of bacterial cellulose by semi-continuous process in molasses medium. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v.106, p. 7-13, 2014.

CAMPANO, C.; BALEA, A.; BLANCO, A. et al. Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: a review. **Cellulose**. v. 23, n. 1, p. 57-91, 2016.

CARREIRA, P.; MENDES, J. A. S.; TROVATTI, E.; SERAFIM, L. S.; FREIRE, C. S. R.; SILVESTRE, A. J. D.; NETO, C. P. Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose. **Bioresource Technology**, Barking, v. 102, n. 15, p. 7354-7360, 2011.

CASTRO, C.; ZULUAGA, R.; PUTAUX J.; CARO, G.; MONDRAGON, I.; GANÁN, P. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 84, n. 1, p. 96-102, 2011.

CAVKA, A.; GUO, X.; TANG, S.; WINESTRAND, S.; JÖNSSON, L. J.; HONG, F. Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 6, n. 1, p. 25, 2013.

CHAGAS, B. S.; LIMA, H. L. S.; BRITO, F. A. E.; GOMES, E. P. C.; LEAL, M. C.; SILVA, M. F. F.; BORGES, M. F.; ROSA, M. F. Produção de celulose bacteriana a partir de melaço de soja hidrolisado. In: WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 9., 2017, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa, 2017. p. 303-306.

CHAWLA, P. R.; BAJAJ, I. B.; SURVASE, S. A.; SINGHAL, R. S. Fermentative Production of Microbial Cellulose. **Food Technology and Biotechnology**, v. 47, n. 2, p. 107-124, 2009.

ÇOBAN, E. P.; BIYIK, H. Evaluation of different pH and temperatures for bacterial cellulose production in HS (Hestrin-Scharmm) medium and beet molasses medium. **African Journal of Microbiology Research**, Lagos, v. 5, n. 9, p. 1037-1045, 2011.

COLVIN, J. R. The biosynthesis of cellulose. In: PRIESS, J. (Ed.). **Plant biochemistry**. New York: Academic Press, 1980. v. 3, p. 543-570.

DANTAS, E. M.; AQUINO, L. C. L. Fermentação em estado sólido de diferentes resíduos para a obtenção de lipase microbiana. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 81-87, 2010.

DEINEMA, M. H.; L. P. ZEVENHUIZEN. Formation of cellulose fibrils by gram-negative bacteria and their role in bacterial flocculation. **Archiv für Mikrobiologie**, Berlin, v. 78, n. 1, p. 42-51, 1971.

DRUZIAN, J. I.; PAGLIARINI, A. P. Produção de goma xantana por fermentação do resíduo de suco de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 26-31, 2007.

DUARTE, E. B. **Produção de nanocompósitos de celulose bacteriana e hidroxiapatita como rota para valorização de resíduos agroindustriais**. 2014. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10752>. Acesso em: 27 jul. 2017.

DUARTE, E. B.; CHAGAS, B. S.; ANDRADE, F. K.; BRÍGIDA, A. I. S.; BORGES, M. F.; MUNIZ, C. R.; FILHO, M. S. M. S.; MORAIS, J. P. S.; FEITOSA, J. P. A.; ROSA, M. F. Production of hydroxyapatite–bacterial cellulose nanocomposites from agroindustrial wastes. **Cellulose**, Houten, v. 22, n. 5, p. 3177-3187, 2015.

DUFRESNE, A. **Nanocellulose**: from nature to high performance tailored materials. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2012.

EL-SAIED, H.; EL-DIWANY, A. I.; BASTA, A. H.; ATWA, N. A.; EL-GHWAS, D. E. Production and characterization of economical bacterial cellulose. **BioResources**, Raleigh, v. 3, n. 4, p. 1196-1217, 2008.

FARIA-TISCHER, P. C. S.; TISCHER, C. A. Nanobiotechnology: platform technology or biomaterials and biological applications the nanostructures. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 32-53, 2012.

GALLEGOS, A. M. A.; CARRERA, S. H.; PARRA, R.; KESHAVARZ, T.; IQBAL, H. M. N. Bacterial cellulose: A sustainable source to develop value-added products – a review. **BioResources**, Raleigh, v. 11, n. 2, p. 5641-5655, 2016.

GAMA, M.; GATENHOLM, P.; KLEMM, D. (Eds.). **Bacterial nanocellulose: a sophisticated multifunctional material**. Florida: CRC Press, 2012. 304 p.

GEA, S.; BILOTTI, E.; REYNOLDS, C. T.; SOYKEABKEAW, N.; PEIJS, T. Bacterial cellulose–poly (vinyl alcohol) nanocomposites prepared by an in-situ process, **Materials Letters**, v. 64, n. 8, p. 901-904, 2010.

GEA, S.; REYNOLDS, C. T.; ROOHPOUR, N.; WIRJOSENTONO, B.; SOYKEABKAEW, N.; BILOTTI, E.; PEIJS, T. Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two- step purification process. **Bioresource Technology**, Barking, v. 102, n. 19, p. 9105-9110, 2011.

GOELZER, F. D. E.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; VITORINO, J. C.; SIERAKOWSKI, M. R.; TISCHER, C. A. Production and characterization of nanospheres of bacterial cellulose from *Acetobacter xylinum* from processed rice bark. **Materials Science and Engineering: C**, Raleigh, v. 29, n. 2, p. 546-551, 2009.

GOMES, F. P.; SILVA, N. H. C. S.; TROVATTI, E.; SERAFIM, L. S.; DUARTE, M. F.; SILVESTRE, A. J. D.; NETO, C. P.; FREIRE, C. S. R. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari* using dry olive mill residue. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 55, p. 205-211, 2013.

GRAMINHA, E. B. N.; GONÇALVES, A. Z. L.; PIROTA, R. D. P. B.; BALSALOBRE, M. A.; SILVA, R.; GOMES, E. Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 144, p. 1-22, 2008.

GUO, X.; CAVKA, A.; JÖNSSON, L. J.; HONG, F. Comparison of methods for detoxification of spruce hydrolysate for bacterial cellulose production. **Microbial Cell Factories**, London, v. 12, n. 93, p. 1-14, 2013.

HA, J. H.; SHEHZAD, O.; KHAN, S.; LEE, S. Y.; PARK, J. W.; KHAN, T.; PARK, J. K. Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culture broth. **Korean Journal of Chemical Engineering**, Seoul, v. 25, n. 4, p. 812-815, 2008.

HASSAN, E. A.; ABDELHADY, H. M.; EL-SALAM, S. S. A.; ABDULLAH, S. M. The characterization of bacterial cellulose produced by *Acetobacter xylinum* and *Komagataeibacter saccharovorans* under optimized fermentation conditions. **British Microbiology Research Journal**, Gurgaon, v. 9, n. 3, p. 1-13, 2015.

HESTRIN, S. Synthesis of polymeric homopolysaccharides, In: GUNSALUS, I. C.; STANIER, R. Y. (Eds.) **The bacteria**. New York: Academic Press, 1962. v. 3, p. 373-388.

HESTRIN, S.; SCHRAMM, M. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. Micromethod for the determination of celluloses. **Biochemical Journal**, London, v. 56, p. 163-166, 1954.

HONG, F.; GUO, X.; ZHANG, S.; HAN, S. F.; YANG, G.; JÖNSSON, L. J. Bacterial cellulose production from cotton-based waste textiles: enzymatic saccharification enhanced by ionic liquid pretreatment. **Bioresource Technology**, Barking, v. 104, p. 503-508, 2012.

HONG, F.; QIU, K. An alternative carbon source from konjac powder for enhancing production of bacterial cellulose in static cultures by a model strain *Acetobacter acetii* subsp. *xylinus* ATCC 23770. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 72, n. 3, p. 545-549, 2008.

HONG, F.; ZHU, Y. X.; YANG, G.; YANG, X. X. Wheat straw acid hydrolysate as a potential cost-effective feedstock for production of bacterial cellulose. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Roboken, v. 86, n. 5, p. 675-680, 2011.

HU, S. Q.; GAO, Y. G.; TAJIMA, K.; SUNAGAWA, N.; ZHOU, Y.; KAWANO, S.; FUJIWARA, T.; YODA, T.; SHIMURA, D.; SATOH, Y.; MUNAKATA, M.; TANAKA, I.; YAO, M. Structure of bacterial cellulose synthase subunit D octamer with four inner passageways. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 107, n. 42, p. 17957-17961, 2010.

HUANG, Y.; ZHU, C.; YANG, J.; NIE, Y.; CHEN, C.; SUN, D. Recent advances in bacterial Cellulose. **Cellulose**, Houten, v. 21, p. 1-30, 2014.

HYUN, J. Y.; MAHANTY, B.; KIM, C. G. Utilization of Makgeolli Sludge Filtrate (MSF) as Low-Cost Substrate for Bacterial Cellulose Production by *Gluconacetobacter xylinus*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 172, n. 8, p. 3748-3760, 2014.

JUNG, H. I.; LEE, O. M.; JEONG, J. H.; JEON, Y. D.; PARK, K. H.; KIM, H. S.; AN W. G.; SON, H. J. Production and characterization of cellulose by *Acetobacter* sp. V6 using a cost-effective molasses-corn steep liquor medium. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 162, n. 2, p. 486-497, 2010.

KESHK, J. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications. **Journal of Bioprocessing and Biotechniques**, Sunnyvale, v. 4, n. 2, 2014.

KESHK, S. M.; RAZEK, T. M.; SAMESHIMA, K. Bacterial cellulose production from beet molasses. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 5, n. 17, p. 1519-1523, 2006a.

KESHK, S.; SAMESHIMA, K. The utilization of sugar cane molasses with/without the presence of lignosulfonate for the production of bacterial cellulose. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 72, n. 2, p. 291-296, 2006b.

KHATTAK, W. A.; KHAN, T.; UL-ISLAM, M.; WAHID, F.; PARK, J. K. Production, characterization and physic-mechanical properties of bacterial cellulose from industrial wastes. **Journal of Polymers and the Environment**, New York, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2015.

KIM, Y. J.; KIM, J. N.; WEE, Y. J.; PARK, D. H.; RYU, H. W. Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter* sp. PKY5 in a rotary biofilm contactor. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v.137, n. 1, p. 529, 2007.

KIZILTAS, E. E.; KIZILTAS, A.; GARDNER, D. J. Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 124, p. 131-138, 2015.

KONGRUANG, S. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* strains from agricultural waste products. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 148, n. 1-3, p. 245-256, 2008.

KUMBHAR, J. V.; RAJWADE, J. M.; PAKNIKAR, K. M. Fruit peels support higher yield and superior quality bacterial cellulose production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 99, n. 16, p. 6677-6691, 2015.

KUO, C. H.; LIN, P. J.; LEE, C. K. Enzymatic saccharification of dissolution pretreated waste cellulosic fabrics for bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Roboken, v. 85, n. 10, p. 1346-1352, 2010.

KUROSUMI, A.; SASAKI, C.; YAMASHITA, Y.; NAKAMURA, Y. Utilization of various fruit juices as carbon source for production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* NBRC 13693. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 76, n. 2, p. 333-335, 2009.

JOZALA, A. F.; DE LENCASTRE-NOVAES, L. C.; LOPES, A. M.; SANTOS-EBINUMA, V. C.; MAZZOLA, P. G.; PESSOA-JR, A.; GROTO, D.; GERENUTTI, M.; CHAUD, M. V. Bacterial nanocellulose production and application: a 10-year overview. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlin, v. 100, n. 5, p. 2063-2072, 2016.

LAVOINE, N.; DESLOGES, I.; DUFRESNE, A.; BRAS, J. Microfibrillated cellulose - its barrier properties and applications in cellulosic materials: a review. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 90, n. 2, p. 735-764, 2012.

LEE, K. Y.; BULDUM, G.; MANTALARIS, A.; BISMARCK, A. More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites. **Macromolecular Bioscience**, Weinheim, v. 14, n. 1, p. 10-32, 2014.

LI, Z.; WANG, L.; HUA, J.; JIA, S.; ZHANG, J.; LIU, H. Production of nano bacterial cellulose from waste water of candied jujube-processing industry using *Acetobacter xylinum*. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 120, p. 115-119, 2015.

LIMA, H. L. S. **Avaliação do Potencial do Líquido de Sisal e do Suco de Caju para a Produção de Celulose Bacteriana**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10785>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

LIMA, H. L. S.; NASCIMENTO, E. S.; ANDRADE, F. K.; BRÍGIDA, A. I. S.; BORGES, M. F.; CASSALES, A. R.; SOUSA FILHO, M. S. M.; MORAES, J. P. S.; ROSA, M. F. Bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter hansenii* ATCC 23769 using sisal juice - an agroindustry waste. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 671-680, 2017.

LIN, W.; LIEN, C.; YEH, H.; YU, C.; HSU, S. Bacterial cellulose and bacterial cellulose-chitosan membranes for wound dressing applications, **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 603-611, 2013.

LIU, Y.; ZHOU, J.; TANG, J.; TANG, W. Three-dimensional, chemically bonded polypyrrole/ bacterial cellulose/graphene composites for high-performance supercapacitors. **Chemistry of Materials**, Washington, v. 27, n. 20, 7034-7041, 2015.

LUZ, E. P. C. G. **Desenvolvimento de materiais híbridos à base de celulose bacteriana e/ ou hidroxiapatita dopados de estrôncio**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/19600>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

MADALOZZO, E. S.; ALMEIDA, D. M.; JUNIOR, G. DOS S.; LEAL, E. S.; CARNEIRO, P. I. B. Obtenção de cepas de *Acetobacter xylinum* a partir da folha de capim-limão in natura, **Série em Ciência e Tecnologia de Alimentos: agroindústria, energia e meio ambiente** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ponta Grossa, Paraná, v. 2, n. 12, 2008.

MEFTAH, A.; KHAJAVI, R.; RASHIDI, A.; SATTARI, M.; YAZDANSHENAS, M. E.; TORABI, M. The effects of cotton gauze coating with microbial cellulose. **Cellulose**, Houten, v. 17, n. 1, p. 199-204, 2010.

MOON, R. J.; MARTINI, A.; NAIRN, J.; SIMONSEN, J.; YOUNGBLOOD, J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chemical Society reviews**, London, v. 40, p. 3941-3994, 2011.

MOON, S. H.; PARK, J. M.; CHUN, H. Y.; KIM, S. J. Comparisons of physical properties of bacterial celluloses produced in different culture conditions using saccharified food wastes. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, Seoul, v. 11, n.1, p. 26-31, 2006.

MOOSAVI-NASAB, M.; YOUSEFI, A. R. Investigation of physicochemical properties of the bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter xylinus* from date syrup. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, Paris, v. 4, n. 8, p. 613 -618, 2010.

NASCIMENTO, E. S.; LIMA, H. L. S.; ARAÚJO, M. K. B.; BRÍGIDA, A. I. S.; ANDRADE, F. K.; BORGES, M. F.; MORAIS, J. P. S.; MUNIZ, C. R.; ROSA, M. F. Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw.)) Extract is an Alternative Nutrient Source for Bacterial Cellulose Production. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, California, v. 10, p. 63-70, 2016.

OSTADHOSSEIN, F.; MAHMOUDI, N.; MORALES-CID, G.; TAMJID, E.; NAVAS-MARTOS, J. F.; SORIANO-CUADRADO, B.; PANIZA, M. J.; SIMCHI, A. Development of chitosan/bacterial cellulose composite films containing nanodiamonds as a potential flexible platform for wound dressing. **Materials**, Basel, v. 8, n. 9, p. 6401-6418, 2015.

PECORARO, E.; MANZANI, D.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. L. Bacterial cellulose from *Glucanacetobacter xylinus*: preparation, properties and applications. In: BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. (Eds.). **Monomers, polymers and comp. from renewable resources**. Amsterdã: Elsevier, 2008, p. 369-383.

PHISALAPHONG, M.; CHIAOPRAKOBKIJ, N. Applications and products-nata de coco. In: GAMA, M.; GATENHOLM, P.; KLEMM, D. (Eds.). **Bacterial nanocellulose: a sophisticated multifunctional material**. Florida: CRC, 2012. p.143-156.

PINEDA, L. D. C.; MESA, L. A. C.; RIASCOS, C. A. M. Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. **Ingeniería y Ciencia**, Medellín, v. 8, n. 16, p. 307-335, 2012.

RANI, M. U.; UDAYASANKAR, K.; APPAIAH, K. A. Properties of bacterial cellulose produced in grape medium by native isolate *Gluconacetobacter* sp. **Journal of Applied Polymer Science**, Malden, v. 120, n. 5, p. 2835-2841, 2011.

RANI, M. U.; APPAIAH, A. Optimization of culture conditions for bacterial cellulose production from *Gluconacetobacter hansenii* UAC09. **Annals of Microbiology**, Milano, v. 61, n. 4, p. 781-787, 2011.

RANI, M. U.; APPAIAH, K. A. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* UAC09 using coffee cherry husk. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 50, n. 4, p. 755-762, 2013.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 856 p.

RIVAS, B.; MOLDES, A. B.; DOMINGUEZ, J. M.; PARAJO, J. C. Development of culture media containing spent yeast cells of *Debaryomyces hansenii* and corn steep liquor for lactic acid production with *Lactobacillus rhamnosus*. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 93-98, 2004.

ROSS, P.; WEINHOUSE, H.; ALONI, Y.; MICHAELI, D.; WEINBERGER-OHANA, P.; MAYER, R.; BRAUN, S.; VROOM, E.; VAN DER MAREL, G. A.; VAN BOOM, J. H.; BENZIMAN, M. Regulation of cellulose synthesis in *Acetobacter xylinum* by cyclic diguanylic acid. **Nature**, London, v. 325, n. 6101, p. 279-81, 1987.

RUKA, D. R.; SIMON, G. P.; DEAN, K. M. Altering the growth conditions of *Gluconacetobacter xylinus* to maximize the yield of bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 89, n. 2, p. 613-622, 2012.

SANI, A.; DAHMAN, Y. Improvements in the production of bacterial synthesized biocellulose nanofibres using different culture methods. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Roboken, v. 85, n. 2, p. 151-164, 2010.

SAXENA, I. M.; BROWN JUNIOR., R. M. Biosynthesis of bacterial cellulose. In: GAMA, M.; GATENHOLM, P.; KLEMM, D. (Ed.). **Bacterial nanocellulose: a sophisticated multifunctional material**. Florida: CRC, 2012. p. 1-18.

SHAH, N.; UL-ISLAM, M.; KHATTAK, W. A.; PARK, J. K. Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 1585-1598, 2013.

SHAO, W.; LIU, H.; LIU, X.; WANG, S.; WU, J.; ZHANG, R.; MIN, H.; HUANG, M. Development of silver sulfadiazine loaded bacterial cellulose/sodium alginate composite films with enhanced antibacterial property. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 132, p. 351-358, 2015.

SHI, Z.; ZHANG, Y.; PHILLIPS, G. O.; YANG, G. Utilization of bacterial cellulose in food. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 35, p. 539-545, 2014.

SILVA, C. D. **Adsorção de albumina bovina e ácido hialurônico em cerâmicos de titânio**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/6665554-Adsorcao-de-albumina-bovina-e-acido-hialuronico-em-ceramicos-de-titanio.html>>. Acesso em: 27 jul. 2016.

- SILVA, T. R. S. **Desenvolvimento de hidrogéis de celulose bacteriana para cultura de células e permeação de biomoléculas**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103444>>. Acesso em: 27 jul. 2017.
- SOUZA, D. M.; GARCIA-CRUZ, C. H. Produção fermentativa de polissacarídeos extracelulares por bactérias. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 331-340, 2004.
- SUN, R. C. Detoxification of biomass of bioethanol. **Bioresources**, Raleigh, v. 4, n. 2, p. 452-455, 2008.
- TANG, W.; JIA, S.; JIA, Y.; YANG, H. The influence of fermentation conditions and post-treatment methods on porosity of bacterial cellulose membrane. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 125-131, 2010.
- THOMPSON, D. N.; HAMILTON, M. A. Production of bacterial cellulose from alternate feedstocks. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 91, n. 1-9, p. 503-513, 2001.
- TSOUKO, E.; KOURMENTZA, C.; LADAKIS, D.; KOPSAHELIS, N.; MANDALA, I.; PAPANIKOLAOU, S.; PALOUKIS, F.; ALVES, V.; KOUTINAS, A. Bacterial cellulose production from industrial waste and by-product streams. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 16, n. 7, p. 14832-14849, 2015.
- TYAGI, N., SURESH, S. Production of cellulose from sugarcane molasses using *Gluconacetobacter intermedius* SNT-1: optimization & characterization, **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 112, n. 1, p. 71-80, 2016.
- UL-ISLAM, M.; KHAN, S.; KHATTAK, W. A.; ULLAH, M. W.; PARK J. K. Synthesis, chemistry, and medical application of bacterial cellulose nanocomposites. In: THAKUR V., THAKUR M. (Eds). **Eco-friendly polymer nanocomposites**. New Delhi: Springer, Advanced Structured Materials, v. 74, 2015. p. 399-437.
- VAZQUEZ, A.; FORESTI, M. L.; CERRUTTI, P.; GALVAGNO, M. Bacterial cellulose from simple and low cost production media by *Gluconacetobacter xylinus*. **Journal of Polymers and the Environment**, New York, v. 21, n. 2, p. 545-554, 2013.
- WONG, H. C.; FEAR, A. L.; CALHOON, R. D.; EICHINGER, G. H.; MAYER, R.; AMIKAM, D.; BENZIMAN, M.; GELFAND, D. H.; MEADE, J. H.; EMERICK, A. W. Genetic organization of the cellulose synthase operon in *Acetobacter xylinum*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 87, n. 20, p. 8130-8134, 1990.
- WU, J. M.; LIU, R. H. Cost-effective production of bacterial cellulose in static cultures using distillery wastewater. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 115, n. 3, p. 284-290, 2013.

WU, J. M.; LIU, R. H. Thin stillage supplementation greatly enhances bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus*. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 90, n. 1, p. 116-121, 2012.

WU, S.; LIA, Y. Application of bacterial cellulose pellets in enzyme immobilization. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, Amsterdam, v. 54, n. 3-4, p. 103-108, 2008.

YAN, Z.; CHEN, S.; WANG, H.; WANG, B.; WANG, C.; JIANG, J. Cellulose synthesized by *Acetobacter xylinum* in the presence of multi-walled carbon nanotubes. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 343, n. 1, p. 73-78, 2008.

YANG, X. Y.; HUANG, C.; GUO, H. J.; XIONG, L.; LI, Y. Y.; ZHANG, H. R.; CHEN, X. D. Bioconversion of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) acid hydrolysate to bacterial cellulose by *Gluconacetobacter xylinus*. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 115, n. 4, p. 995-1002, 2013.

YANG, X. Y.; HUANG, C.; GUO, H. J.; XIONG, L.; LUO, J.; WANG, B.; LIN, X. Q.; CHEN, X. F.; CHEN, X. D. Bacterial cellulose production from the litchi extract by *Gluconacetobacter xylinus*. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, New York, v. 46, n. 1, p. 39-43, 2014.

YAMADA, Y.; YUKPHAN, P.; VU, H. T. L.; MURAMATSU, Y.; OCHAIKUL, D.; NAKAGAWA, Y. Subdivision of the genus *Gluconacetobacter* Yamada, Hoshino and Ishikawa 1998: The proposal of *Komagatabacter* gen. nov., for strains accommodated to the *Gluconacetobacter xylinus* group in the α -*Proteobacteria*. **Annals of Microbiology**, Milan, v. 62, p. 849-859, 2012a.

YAMADA, Y.; YUKPHAN, P.; VU, H. T. L.; MURAMATSU, Y.; OCHAIKUL, D.; TANASUPAWAT, S.; NAKAGAWA, Y. Description of *Komagataeibacter* gen. nov., with proposals of new combinations (*Acetobacteraceae*). **Journal General Applied Microbiology**, Tokyo, v. 58, p. 397-404, 2012b.

XIAO, X.; HOU, Y.; LIU, Y.; LIU, Y.; ZHAO, H.; DONG, L.; DU, J.; WANG, Y.; BAI, G.; LUO, G. Classification and analysis of corn steep liquor by UPLC/Q-TOF MS and HPLC. **Talanta**, Oxford, v. 107, p. 344-348, 2013.

ZENG, X.; SMALL, D. P.; WAN, W. Statistical optimization of culture conditions for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* BPR 2001 from maple syrup. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 85, n. 3, p. 506-513, 2011.

ZHIJUN, S.; YUE, Z.; GLYN, O. P.; GUANG, Y. Utilization of bacterial cellulose in food. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 35, p. 539-545, 2014.

ZHU, H.; JIA, S.; YANG, H.; JIA, Y.; YAN, L.; LI, J. Preparation and application of bacterial cellulose sphere: A novel biomaterial. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, Sofia, v. 25, n. 1, p. 2233-2236, 2011.



Agroindústria Tropical



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL